

PAT-NO: JP410214713A

DOCUMENT-IDENTIFIER: **JP 10214713 A**

TITLE: SUPERCONDUCTING COIL

PUBN-DATE: August 11, 1998

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

TAKITA, KIYOSHI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

FUJI ELECTRIC CO LTD

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP09015483

APPL-DATE: January 29, 1997

INT-CL (IPC): H01F006/06

## ABSTRACT:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To effectively support an electro-magnetic force and secure thermal stability even with a large coil in which an electro-magnetic force applied to a winding is increased, by alternately winding a high-temperature superconductive wire and a composite material having a ceramic layer on the outer circumference of a parallel connection body of stainless steel and copper or the like.

**SOLUTION:** A superconducting coil has a structure forming a **pancake coil** in which a high-temperature superconductive wire 2 and a composite material 3 are alternately arranged by superimposing and simultaneously winding the high-temperature superconductive wire 2 and the composite material 3 in a groove provided on a spool 1. The high-temperature superconductive wire 2 is a silver sheath tape wire formed in the shape of thin tape by burying a **high-temperature superconductor** 21 in a silver sheath 22. The composite

material 3 is made by forming a ceramic layer 33 made of alumina on the outer circumference of a metal composite material having a stainless steel 32 inside, which is a high-strength material, and a copper 31 outside, which is a high thermal conductive material. With this superconducting coil, an electro-magnetic force applied thereto is appropriately supported and excellent thermal stability is provided.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-214713

(43) 公開日 平成10年(1998) 8月11日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 F 6/06

識別記号

Z A A

F I

H 0 1 F 5/08

Z A A C

Z A A D

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平9-15483

(22) 出願日 平成9年(1997) 1月29日

(71) 出願人 000005234

富士電機株式会社

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

(72) 発明者 滝田 清

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

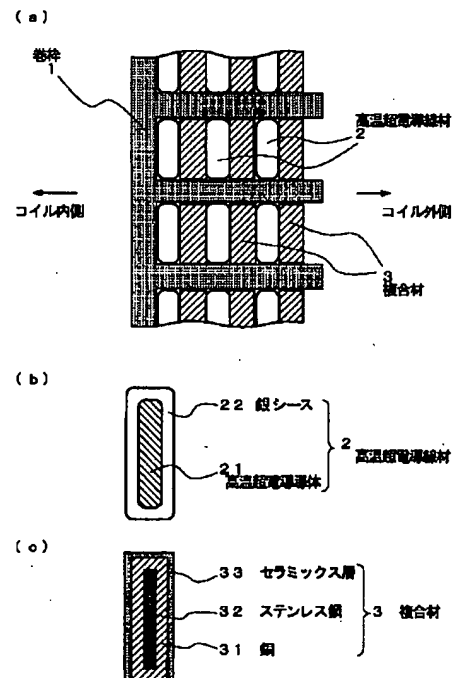
(74) 代理人 弁理士 篠部 正治

(54) 【発明の名称】 超電導コイル

(57) 【要約】

【課題】高温超電導体を用いる超電導コイルにおいて、巻線に加わる電磁力が効果的に支持され、大型コイルにあっても安定して作動するものとする。

【解決手段】高温超電導体21を銀シース22に埋設したテープ状の高温超電導線材2と、高強度のステンレス鋼32と良熱伝導性の銅31との金属複合材の外周にセラミックス層33を配した複合材3を、巻棒1の溝中に同時に巻回し、超電導線材2と複合材3を交互に配設して超電導コイルを構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】高温超電導線材と、ステンレス鋼と銅または銅合金との並列接続体の外周にセラミックス層を備えてなる複合材とが、交互に巻回して構成されていることを特徴とする超電導コイル。

【請求項2】巻回された高温超電導線材の最外周に、ステンレス鋼と銅または銅合金との並列接続体の外周にセラミックス層を備えてなる複合材を巻回して構成されていることを特徴とする超電導コイル。

【請求項3】巻回された高温超電導線材の最外周にアルミナまたは窒化アルミニウムからなるセラミックス材を巻回し、さらにその外周に、ステンレス鋼と銅または銅合金との並列接続体の外周にセラミックス層を備えてなる複合材を巻回して構成されていることを特徴とする超電導コイル。

【請求項4】請求項2または3の超電導コイルにおいて、前記複合材を構成するステンレス鋼が、高透磁率を備えたステンレス鋼よりなることを特徴とする超電導コイル。

【請求項5】請求項1、2、3または4の超電導コイルにおいて、複合材の外周に備えられた前記セラミックス層が、アルミナまたは窒化アルミニウムからなることを特徴とする超電導コイル。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、高温超電導線材を巻回して形成され、低温に冷却して用いられる超電導コイルの巻線構造に関する。

## 【0002】

【従来の技術】超電導コイルの巻線には、従来よりNbTi等の金属系超電導線材やNb<sub>3</sub>Sn等の化合物系超電導線材が用いられているが、これらの超電導線材の臨界温度は、一番高いNb<sub>3</sub>Geにおいても約23 Kであり、通常、高価な液体ヘリウムを用いて極低温に冷却して運転されている。一方、最近、ビスマス系、イットリウム系、タリウム系等、臨界温度が液体窒素温度を超える高温超電導体が発見され、この高温超電導体を巻線に用い、安価な液体窒素で冷却して運転される超電導コイルの開発が種々の研究機関で積極的に進められている。

【0003】高温超電導体を巻線に適用できるように長尺化した高温超電導線材としては、例えば、ビスマス系、イットリウム系、タリウム系等の高温超電導体を銀管中に組み込み、伸線、圧延して形成される銀シーステープ線材がある。図5は、この方法により形成された高温超電導線材2の断面を模式的に示したもので、高温超電導体21は銀シース22の内部に埋設され、薄いテープ状に形成されている。なお、図に示した高温超電導線材2においては、一本の高温超電導体21が埋設されているが、例えば61本等、複数の高温超電導体21を埋設して形成したものもある。

【0004】このように高温超電導線材2は薄いテープ状に形成されているので、従来の高温超電導線材を用いた超電導コイルは、銀シーステープ線材をいわゆるパンケーキ状に巻線して構成されているのが一般的である。また、高温超電導体は脆く、曲げ歪みが大きくなると超電導特性が大幅に低下するので、曲げ径の大きな超電導コイルを構成する際には、超電導特性を出すための熱処理を行った後巻線するリアクトアンドワインド法が用いられるが、曲げ径の小さな超電導コイルを構成する際には、巻線を行ったのち熱処理を行うワインドアンドリアクト法が用いられる。図6は、高温超電導線材を用いた超電導コイルの従来例を示す構成図で、(a)は円筒状の超電導コイルの縦断面図、(b)は(a)のA部の拡大図である。本超電導コイルはリアクトアンドワインド法によるもので、図に見られるように、電気絶縁性材料であるFRPよりなる巻枠1に設けられた溝中に複数のパンケーキコイル10を挿入固定して構成されており、各パンケーキコイル10は、図5に示したとき高温超電導線材2を、テープ状の薄い絶縁シート5を挿入しながら巻回して形成されている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記のごとく、従来の高温超電導線材を用いた超電導コイルは、テープ状に形成された線材を用い、リアクトアンドワインド法、あるいはワインドアンドリアクト法により形成されており、例えば図6に示した構成の超電導コイルでは、層間に挿入するテープ状の薄い絶縁膜5に熱伝導性のよいアルミナ不織布を用いれば、熱的安定性のよい超電導コイルを得ることができる。

【0006】しかしながら、銀シース中に高温超電導体を埋設した構成の銀シーステープ線材よりなる高温超電導線材2は機械強度に乏しく、また絶縁膜5も強度が十分でないので、磁界発生に伴って巻線に加わる電磁力が大きくなると機械的強度が不十分となり、電磁力の小さい小型の超電導コイルには適用できるが、電磁力が大きくなる大型のコイルには適用できないという問題点がある。

【0007】本発明の目的は、上記の難点を解決し、高温超電導体を用いる超電導コイルにおいて、巻線に加わる電磁力が大きくなる大型のコイルにあっても、電磁力が効果的に支持され、さらには熱的安定性が確保され、安定して作動するものを提供することにある。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明においては、

(1) 高温超電導線材と、ステンレス鋼と銅または銅合金との並列接続体の外周に、例えばアルミナまたは窒化アルミニウムからなるセラミックス層を備えた複合材とを交互に巻回して、超電導コイルを構成することとする。

【0009】(2)あるいは、高温超電導線材を巻回し、その最外周に、上記と同様の複合材を巻回して、超電導コイルを構成することとする。

(3)あるいは、高温超電導線材を巻回し、その最外周にアルミナまたは窒化アルミニウムからなるセラミックス材を巻回し、さらにその外周に上記と同様の複合材を巻回して、超電導コイルを構成することとする。

【0010】(4)また、上記(2)あるいは(3)の構成において、複合材を構成するステンレス鋼に高透磁率を備えたステンレス鋼を用いて超電導コイルを構成することとする。上記(1)のごとくとすれば、機械的強度に優れたステンレス鋼を備えた複合材を内部に配して巻線が形成されるので、超電導コイルの発生磁界により高温超電導線材に大きな電磁力が加わる際にも、複合材がこれを支持することとなり、大きな電磁力の発生する大型コイルの構成として効果的である。また、複合材には熱の良導体である銅あるいは銅合金が備えられているので、効果的に熱の伝達、拡散が行われ熱的安定性に優れたコイルとなる。また、複合材の外周には、セラミックス層が備えられているので高温超電導線材のターン間の電気絶縁が確保される。また、このセラミックス層を熱伝導性の良いアルミナ、あるいは窒化アルミニウムから形成すれば、超電導コイルの熱的安定性を一段と向上させることができる。

【0011】また、上記(2)のごとくとすれば、高温超電導線材よりなる巻線は複合材によって外周より支持されるので、大きな電磁力が加わる際にも複合材がこれを支持することとなる。また、(3)のごとく高温超電導線材よりなる巻線の外周に熱伝導性に優れたアルミナまたは窒化アルミニウムからなるセラミックス材を巻回し、その外周に複合材を配して支持することとすれば、電磁力を効果的に支持できるのみならず、超電導コイルの熱的安定性を向上させることができ、大型コイルの構成として効果的である。

【0012】また、(4)のごとく、高透磁率材料を備えた複合材を用い、これを超電導コイルの最外周に配して巻線を支持することとすれば、巻線に加わる電磁力が支持できるとともに、高透磁率材料によって超電導コイルの外部に生じる磁束がシールドされることとなるので、漏れ磁束の小さい超電導コイルが得られることとなる。

【0013】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の超電導コイルの第1実施例の基本構成図で、(a)はコイル要部の拡大断面図、(b)は用いられている高温超電導線材の拡大断面図、(c)は複合体の拡大断面図である。図1

(a)に見られるように、本実施例の超電導コイルは、巻棒1に設けられた溝中に高温超電導線材2と複合材3とを重ねあわせて同時に巻線することにより、高温超電導線材2と複合材3が交互に配されるパンケーキコイル

が形成されるよう構成されている。巻線されている高温超電導線材2は、図1(b)のごとく、高温超電導線材21を銀シース22に埋設して薄いテープ状に形成したいわゆる銀シーステープ線材である。また、複合材3は、図1(c)のごとく、内部に高強度材料であるステンレス鋼32を、外側に良熱伝導性材料である銅31を配した金属複合材の外周にアルミナからなるセラミックス層33を形成して構成されている。

【0014】本構成では、熱伝導性に富み、機械強度が高く、かつ電気絶縁性の外層を備えた複合材3を高温超電導線材2と同時に巻線して超電導コイルを形成しているので、加わる電磁力が適切に支持され、かつ、熱的に優れた安定性を備えることとなる。図2は、本発明の超電導コイルの第2実施例の基本構成を示すコイル要部の拡大断面図である。本構成の特徴は、巻棒1の溝中に、第1実施例の高温超電導線材と同様の高温超電導線材2を図示しない絶縁シートを介装しながら巻線してパンケーキコイルを構成し、その最外層に、第1実施例の複合材と同じく、内部にステンレス鋼を埋設した銅の外層にセラミックス層を備えてなる複合材3を巻線して構成されている点にある。本構成では、高温超電導線材2よりなるパンケーキコイルが、機械強度の高い複合材3によって支持されるので、コイルに加わる電磁力が適切に支持されることとなる。

【0015】図3は、本発明の超電導コイルの第3実施例の基本構成を示すコイル要部の拡大断面図である。本構成の特徴は、巻棒1の溝中に、第1、第2実施例の高温超電導線材と同様の高温超電導線材2を図示しない絶縁シートを介装しながら巻線してパンケーキコイルを構成し、その外層に窒化アルミニウムからなるセラミックス材4を配し、最外層に第1、第2実施例の複合材と同様の複合材3を巻線して構成されている点にある。本構成では、機械強度の高い複合材3によってコイルに加わる電磁力が適切に支持されるとともに、超電導コイルの作動温度である液体窒素温度において熱の良導体である銅より高い熱伝導率を有する窒化アルミニウムからなるセラミックス材4が介装されているので、熱的に極めて安定した超電導コイルとなる。

【0016】なお、第2、第3実施例において、複合材を、内部に高透磁率材料のステンレス鋼、外側に良熱伝導性材料である銅を配した金属複合材の外周にアルミナからなるセラミックス層を形成して構成される複合材とすれば、超電導コイルの外側に生じた磁束が複合材中の高透磁率材料のステンレス鋼の内部に集中して通過することとなるので、超電導コイルの外側の磁界がシールドされ、漏洩する磁界は微量に抑えられることとなる。

【0017】図4は、本発明の超電導コイルの第4実施例の基本構成を示すコイル要部の拡大断面図である。本構成の特徴は、上記の実施例の高温超電導線材と同様の高温超電導線材2を図示しない絶縁シートを介装しながら

5

ら巻線してパンケーキコイルを構成し、複数のパンケーキコイルの外層に、内部に高透磁率材料のステンレス鋼、外側に良熱伝導性材料である銅を配した金属複合材の外周にアルミナからなるセラミックス層を形成して構成された複合材3Aを配して支持している点にある。本構成では、加わる電磁力が複合材3Aにより適切に支持されるとともに、複合材3A中の高透磁率材料のステンレス鋼の内部に、超電導コイルの外側に生じた磁束が集中して通過することとなるので、超電導コイルの外側の磁界がシールドされ、漏洩する磁界は微量に抑えられるので、外部への磁界の影響の少ない超電導コイルとなる。

【0018】

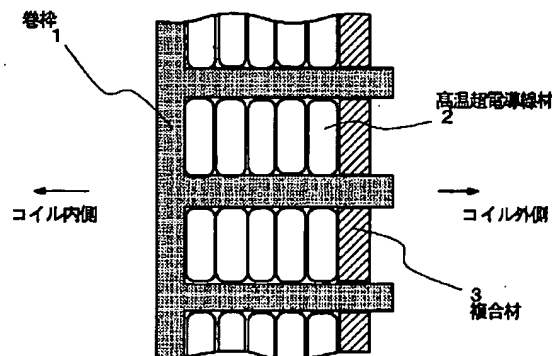
【発明の効果】上述のように、本発明によれば、

(1) 高温超電導線材と、ステンレス鋼と銅または銅合金との並列接続体の外周に、例えばアルミナまたは窒化アルミニウムからなるセラミックス層を備えた複合材を交互に巻回して、超電導コイルを構成することとしたので、巻線に加わる電磁力が大きくなる大型のコイルであっても、電磁力が効果的に支持され、さらには熱的安定性が確保されて、安定して作動する超電導コイルが得られることとなった。

【0019】(2) また、高温超電導線材を巻回し、その最外周に、上記と同様の複合材を巻回して、超電導コイルを構成することとすれば、同様に巻線に加わる電磁力が効果的に支持され、さらには熱的安定性が確保されるので、安定して作動する超電導コイルが得られることとなる。

(3) また、高温超電導線材を巻回し、その最外周にアルミナまたは窒化アルミニウムからなるセラミックス材を巻回し、さらにその外周に上記と同様の複合材を巻回して、超電導コイルを構成することとすれば、同様に巻線に加わる電磁力が効果的に支持され、さらに熱的安定性がより一層向上するので、安定して作動する超電導コイルとして、好適である。

【図2】



6

【0020】(4) また、上記(2)あるいは(3)の構成において、複合材を構成するステンレス鋼に高透磁率を備えたステンレス鋼を用いて超電導コイルを構成することとすれば、巻線に加わる電磁力が効果的に支持され、さらには熱的安定性が確保されるのみならず、外部への漏洩磁界が抑制された超電導コイルを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の超電導コイルの第1実施例の基本構成図で、(a)はコイル要部の拡大断面図、(b)は用いられている高温超電導線材の拡大断面図、(c)は複合体の拡大断面図

【図2】本発明の超電導コイルの第2実施例の基本構成を示すコイル要部の拡大断面図

【図3】本発明の超電導コイルの第3実施例の基本構成を示すコイル要部の拡大断面図

【図4】本発明の超電導コイルの第4実施例の基本構成を示すコイル要部の拡大断面図

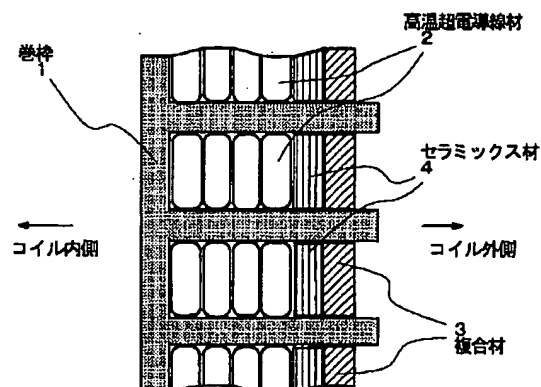
【図5】従来的高温超電導線材の断面模式図

【図6】高温超電導線材を用いた超電導コイルの従来例を示す構成図で、(a)は円筒状の超電導コイルの縦断面図、(b)は(a)のA部の拡大図

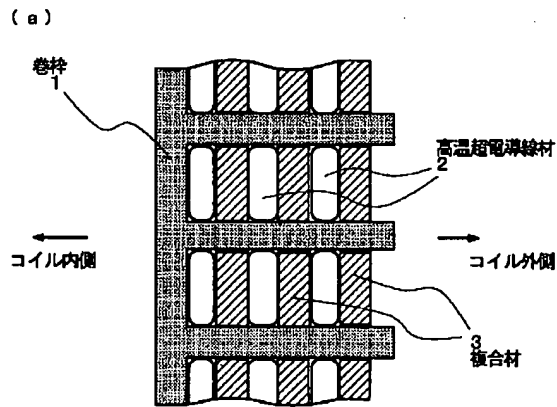
【符号の説明】

- 1 巻棒
- 2 高温超電導線材
- 3 複合材
- 3A 複合材
- 4 セラミックス材
- 5 絶縁シート
- 10 パンケーキコイル
- 21 高温超電導体
- 22 銀シース
- 31 銅
- 32 ステンレス鋼
- 33 セラミックス層

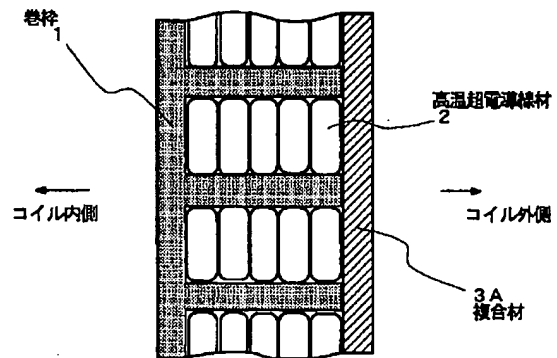
【図3】



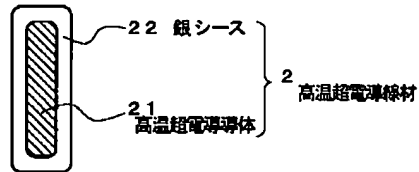
【図1】



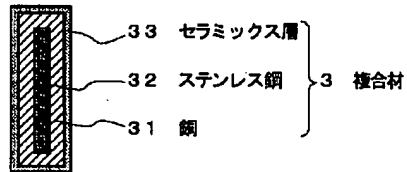
【図4】



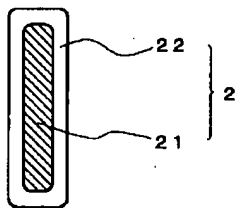
(b)



(c)



【図5】



【図6】

